

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2026.01.014

ЗАСТОСУВАННЯ ПОПРАВОЧНИХ КОЕФІЦІЄНТІВ ДО АМПЛІТУДИ СИГНАЛІВ ВІД ВІДБИВАЧІВ У МІРАХ ДЕФЕКТІВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

Сазонов П.О.¹ [ORCID], Клименко С.В.² [ORCID]

¹Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, аспірант, Україна

²Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара,

к.т.н., доцент, Україна

Анотація. Ультразвуковий неруйнівний контроль широко застосовується для оцінювання технічного стану відповідальних конструкцій, при цьому амплітудний метод залишається основним підходом до визначення розмірів дефектів. Водночас суттєвою проблемою цього методу є низька відтворюваність амплітуд сигналів від номінально однакових відбивачів у калібрувальних та контрольних зразках, що може призводити до відхилень на рівні 4 – 10 дБ і значних похибок у визначенні розмірів дефектів. У роботі запропоновано аналітичний підхід до компенсації цих розбіжностей шляхом введення поправочного коефіцієнта, заснованого на порівнянні амплітуд сигналів від пласкодонного отвору та умовно нескінченної поверхні. Модель сформульована на основі рівнянь акустичного тракту для дальньої зони з урахуванням геометричних параметрів перетворювача та відбивача, частоти ультразвуку і швидкості його поширення. Проведено оцінювання невизначеності відповідно до підходів GUM. Показано, що застосування запропонованої поправки дозволяє зменшити розкид амплітуд до рівня 1 – 1,3 дБ, що суттєво підвищує відтворюваність та достовірність результатів контролю. Отримані результати можуть бути використані у процедурах калібрування, метрологічної атестації та в цифрових системах ультразвукового контролю.

Ключові слова: ультразвуковий контроль (УЗК), неруйнівний контроль (НК), амплітудний метод, пласкодонний отвір, калібрувальні зразки, контрольні зразки, поправка, невизначеність.

Ультразвуковий неруйнівний контроль є одним із ключових методів діагностики технічного стану відповідальних конструкцій у промисловості. Одним із найбільш поширених підходів до оцінювання розмірів дефектів залишається амплітудний метод, який базується на порівнянні амплітуди сигналу від дефекту з сигналом від еталонних відбивачів у калібрувальних або контрольних зразках [1].

Попри свою простоту, цей метод має суттєві метрологічні обмеження. Практика калібрування та перевірки показує, що амплітуди сигналів від номінально однакових пласкодонних отворів (FBH) можуть відрізнятися на 4–10 дБ навіть за дотримання геометричних і технологічних вимог [2]. Така розбіжність є критичною, оскільки призводить до кратних похибок при визначенні площі відбивача і, відповідно, розміру дефекту [3].

Основними причинами є акустична неоднорідність матеріалів, мікрогеометрія поверхні відбивача, хвильові ефекти, варіації параметрів п'єзоперетворювача та загасання ультразвуку. У сукупності ці фактори обумовлюють низьку відтворюваність амплітудних параметрів.

Метою роботи є розроблення аналітичного підходу до компенсації зазначених розбіжностей шляхом введення поправочного коефіцієнта, заснованого на порівнянні сигналів від дискового відбивача та умовно нескінченної поверхні.

Запропонований далі підхід базується на аналізі рівнянь акустичного тракту у дальній зоні для круглого п'єзоперетворювача [4].

Амплітуда сигналу, відбитого від умовно нескінченної поверхні, а також для пласкодонного отвору описуються відповідними залежностями. Для врахування загасання використовується експоненційний множник. Теоретичне відхилення амплітуд визначається як різниця між сигналами від умовно нескінченної поверхні та ідеального відбивача. Поправочний коефіцієнт визначається як різниця між експериментально отриманим та теоретичним значеннями цього відхилення. Для практичного застосування модель представлена через параметри перетворювача та відбивача (діаметри, частота, швидкість ультразвуку).

Оцінювання невизначеності виконано відповідно до підходів GUM та EA [5-6]. Комбінована стандартна невизначеність визначається як сума внесків типів A і B, а розширена невизначеність — при коефіцієнті охоплення $k = 2$.

Показано, що амплітуда сигналу від умовно нескінченної поверхні (донного сигналу) характеризується високою відтворюваністю — відхилення не перевищують 0,5 дБ для однакових

матеріалів. На цьому фоні варіації сигналів від пласкодонних отворів досягають 4 – 10 дБ.

Застосування запропонованої поправки дозволяє суттєво зменшити розкид амплітуд до рівня приблизно 1 – 1,3 дБ. Це забезпечує підвищення відтворюваності результатів контролю, зниження ймовірності помилок оцінювання розмірів дефектів а також покращення узгодженості результатів між різними зразками та етапами контролю.

Окрім цього, застосування поправки дозволяє знизити вимоги до точності виготовлення калібрувальних і контрольних зразків, що має суттєвий економічний ефект.

Отримані результати також підтверджують можливість інтеграції запропонованого підходу у програмне забезпечення сучасних ультразвукових дефектоскопів для автоматичного коригування амплітуд.

Висновки

Запропоновано аналітичну модель поправочного коефіцієнта для амплітудного методу ультразвукового неруйнівного контролю, яка базується на співвідношенні сигналів від пласкодонного відбивача та умовно нескінченної поверхні.

Показано, що запропонований підхід дозволяє компенсувати неконтрольовані фактори, які спричиняють значні розбіжності амплітуд, та зменшити їх до рівня 1 – 1,3 дБ. Проведений аналіз невизначеності підтверджує метрологічну обґрунтованість моделі.

Запропонована поправка може бути використана у процедурах калібрування, метрологічної атестації та в алгоритмах цифрової обробки сигналів. Її застосування сприяє підвищенню точності, стабільності та відтворюваності результатів УЗНК.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на розширення моделі для складних типів відбивачів і анізотропних матеріалів, а також на експериментальну валідацію у широкому діапазоні умов контролю.

ЛІТЕРАТУРА

1. ISO 5577:2017 Non-destructive testing – Ultrasonic testing – Vocabulary <https://www.iso.org/standard/63662.html>
2. Сазонов П.О., Клименко С.В. Підвищення ефективності ультразвукового неруйнівного контролю складних технічних об'єктів. Вісник ДУ Journal of Rocket-Space Technology № 2 Т34 2025 ISSN 2409-4056 <https://rocketspace.dp.ua> Стр. 84
3. СОУ-Н МПЕ 40.1.17.302:2005 Ультразвуковий контроль зварних з'єднань елементів котлів, трубопроводів і посудин
4. Josef Krautkrämer, Herbert Krautkrämer - Werkstoffprüfung mit Ultraschall, Springer-Verlag, 2013, ISBN 3642529615 – 415-420 p.
5. ISO/IEC Guide 98-3:2008 Uncertainty of measurement Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995) <https://www.iso.org/standard/50461.html>
6. EA-4/02 M: 2022 Evaluation of the Uncertainty of Measurement in calibration <https://european-accreditation.org/wp-content/uploads/2018/10/EA-4-02.pdf>

APPLICATION OF CORRECTION FACTORS TO THE AMPLITUDE OF SIGNALS REFLECTED FROM DEFECT SIMULATORS IN ULTRASONIC NON- DESTRUCTIVE TESTING REFERENCE BLOCKS

Pavlo Sazonov, Svitlana Klymenko

Abstract. *Ultrasonic non-destructive testing (UT NDT) is widely used for assessing the technical condition of critical engineering structures, with the amplitude-based method remaining one of the principal approaches for defect sizing. However, a significant limitation of this method is the poor reproducibility of echo amplitudes obtained from nominally identical reflectors in calibration and reference blocks, which may lead to deviations of 4 – 10 dB and substantial errors in defect size estimation. This paper proposes an analytical approach for compensating such discrepancies by introducing a correction factor based on the comparison of signal amplitudes reflected from a flat-bottom hole and a quasi-infinite surface. The model is formulated on the basis of acoustic path equations for the far field, taking into account the geometric parameters of the transducer and reflector, ultrasonic frequency, and wave propagation velocity in the material. Measurement uncertainty was evaluated in accordance with the GUM approach. The results demonstrate that the proposed correction reduces amplitude dispersion to approximately 1 – 1,3 dB, significantly improving the reproducibility and reliability of inspection results. The proposed approach can be applied in calibration procedures, metrological certification, and digital ultrasonic testing systems.*

Keywords: *ultrasonic testing (UT), non-destructive testing (NDT), amplitude method, flat-bottom hole, calibration block, reference block, correction factor, uncertainty.*

REFERENCE

1. ISO 5577:2017 Non-destructive testing – Ultrasonic testing – Vocabulary <https://www.iso.org/standard/63662.html>
2. Pavlo Sazonov, Svitlana Klymenko INCREASING THE EFFECTIVENESS OF ULTRASONIC NONDESTRUCTIVE TESTING OF COMPLEX TECHNICAL OBJECTS Journal of Rocket-Space Technology № 2 T34 2025 ISSN 2409-4056 <https://rocketspace.dp.ua> Crop. 84
3. SOU-N MPE 40.1.17.302:2005, Ultrasonic Testing of Welded Joints of Boiler, Pipeline, and Pressure Vessel Components, Ukrainian Industry Standard, 2005
4. Josef Krautkrämer, Herbert Krautkrämer - Werkstoffprüfung mit Ultraschall, Springer-Verlag, 2013, ISBN 3642529615 – 415-420 p.
5. ISO/IEC Guide 98-3:2008 Uncertainty of measurement Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995) <https://www.iso.org/standard/50461.html>
6. EA-4/02 M: 2022 Evaluation of the Uncertainty of Measurement in calibration <https://european-accreditation.org/wp-content/uploads/2018/10/EA-4-02.pdf>